

УДК 621.9.65.01513

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ

*В.Г. Прохоров, Г.И. Rogozin*

Вопросы расчета станочного приспособления на точность его изготовления и автоматизации этого расчета являются важнейшими при разработке станочного приспособления, ибо точность механообработки непосредственно зависит от точности расположения заготовки, установленной в приспособлении на станке, и еще многих факторов, проявляющихся во время наладки станка и осуществления технологической операции. Решением этих вопросов в течение ряда лет занимается кафедра технологии и автоматизации машиностроения ТвГТУ [1–3].

В данной статье рассматривается новая ступень на пути автоматизированного расчета станочного приспособления на точность его изготовления, построенная на мобильном варьировании всеми составляющими технологического баланса на любой стадии его решения.

В традиционном подходе зависимость точности механообработки от составляющих погрешности обработки, то есть технологический баланс операционной точности, решался при фиксированных исходных параметрах [1, 2]. Заранее назначалась величина экономической статистической точности метода обработки ( $\omega$ ), выбиралась схема базирования, и считалось неизменным соотношение числа ( $n$ ) составляющих погрешности обработки, обусловленных установкой заготовки и станочного приспособления с числом ( $m$ ) остальных составляющих технологического баланса точности. Это соотношение определяется коэффициентом  $K$ , который в технической литературе предлагается выбирать в диапазоне 0.6–0.8. На новой ступени развития автоматизации расчета предлагаемая программа при задании числа составляющих погрешности обработки автоматически определяет и учитывает указанное соотношение. Для этого была получена

и использована в алгоритме программы формула коэффициента  $K$ : 
$$K = \frac{\sqrt{m}}{m + n}.$$

Новая программа позволяет также получить данные по выбору допустимого значения погрешности базирования, то есть для принимаемых значений составляющих погрешности, обусловленных статистической точностью, программа выдает соответствующее значение погрешности базирования, и это позволяет принять решение относительно рассматриваемой схемы базирования. Таким же образом варьирование статистической точностью, характеризующей технологические возможности оборудования конкретного производства, может подсказать рациональное решение по выбору метода обработки, оборудования и режущего инструмента на технологической операции.

Кроме того, экранная форма программы позволяет рассмотренные совокупности составляющих точности обработки зафиксировать в таблице с тем, чтобы иметь возможность вернуться к рассмотренным вариантам и анализировать результаты.

Таким образом, создаются условия для оптимизации технологической системы с определением требований точности на изготовление конструкции станочного приспособления.

Как и в программе первого этапа создания и развития алгоритма автоматизированного расчета станочного приспособления на точность, решение технологического баланса точности, содержащего в одном уравнении несколько неизвестных составляющих, производится после их предварительного анализа на равенство нулю и, соответственно, исключения из последующего расчета. Далее, принимая равными между собой искомые составляющие (это условие является идеальным

для точности квадратического сложения случайных величин), решаем уравнение и находим среднее значение составляющей погрешности. Используем найденное значение как ориентир для выбора одной из составляющих в соответствии с механизмом ее происхождения. Таким образом, организуем приближение и к другим неопределенным значениям составляющих погрешности обработки, в том числе к тем, которые непосредственно характеризуют точность замыкающих размеров приспособления, то есть размеров между геометрическими элементами (плоскость, ось, точка), характеризующими контактные участки приспособления с заготовкой, с одной стороны, и станком, с другой стороны, в направлении расчетного операционного параметра Т (точность обеспечиваемого размера или пространственного отклонения).

Предлагаемая программа автоматизированного расчета станочного приспособления на точность его изготовления выполнена на языке программирования Си Шарп.

Экранная форма программы показана на рис. 1. Здесь слева расположены параметры технологической операции как варьируемые составляющие баланса операционной точности. Верхнюю строчку занимает допуск Т операционного размера, по которому производится расчет станочного приспособления. На второй и третьей строчках находятся соответственно статистическая экономическая точность обработки, обусловленная методом обработки, и рассмотренный выше коэффициент К. Ниже на форме представлены последовательно составляющие погрешности обработки. Их наименования указаны на форме программы справа под расчетной зависимостью.

**Расчёт приспособления на точность изготовления  
в направлении получаемого размера**

Т

Вычисляемые параметры

ω

k

ξб

ξз

ξи

ξп.с

ξо

ξн

Расчётная формула

$$T = 1,2 \sqrt{\xi_б^2 + \xi_з^2 + \xi_и^2 + \xi_{п.с}^2 + \xi_о^2 + \xi_н^2 + (k\omega)^2}$$

где Т - допуск на размер  
ω - статистическая точность обработки  
k - вычисляемый коэффициент  
ξб - погрешность базирования  
ξз - погрешность закрепления  
ξи - погрешность износа установочных элементов  
ξп.с - погрешность положения приспособления на станке  
ξо - погрешность положения опоры  
ξн - погрешность настроечного элемента

Результаты предыдущих расчётов:

Т	ω	k	ξб	ξз	ξи	ξп.с	ξо	ξн

Рассчитать

Новый расчёт

Рис. 1. Экранная форма программы расчета станочного приспособления на точность

Проведем примерный автоматизированный расчет для операционного допуска Т = 0,2 мм.

Устанавливаем это значение в верхнюю ячейку. Примем, что после анализа технологических факторов на равенство нулю соответствующих составляющих погрешность базирования равна нулю (опорная поверхность заготовки совпадает

с измерительной базой); погрешность закрепления равна нулю, поскольку усилие закрепления направлено перпендикулярно направлению получаемого размера, и погрешность положения приспособления на станке равна нулю, так как совпадают основная конструкторская база приспособления и соответствующая вспомогательная конструкторская база станка. Тогда заносим указанные нулевые результаты в отведенные для них ячейки и нажимаем кнопку «Рассчитать». Экранная форма принимает вид, показанный на рис. 2а.

Полученное среднее значение неизвестных (0,055) используется для следующего шага: определяются условия реализации одной из оставшихся составляющих с близким к среднему значению. Программа позволяет в первую очередь найти условия реализации составляющих, характеризующих точность конструкции приспособления:  $\xi_o$  и  $\xi_n$ . В нашем примере выбран путь последовательного приближения к определению этих параметров. Поэтому обращаемся к погрешности, обусловленной износом опор. Исходя из производственной программы, вида и формы рабочей поверхности опоры и периодичности подналадки ее положения, а также ориентируясь на текущий результат расчета, рассчитываем погрешность износа и получаем целесообразным ее значение  $\xi_{и} = 0,03$  мм. Добавляем принятое значение  $\xi_{и}$ , освобождаем ячейки искомым значениям и жмем кнопку «Рассчитать».

а

T	0,2
Вычисляемые параметры	
$\omega$	0,165954589619457 X
k	0,82
$\xi_b$	0 X
$\xi_z$	0 X
$\xi_{и}$	0,0555555555555556 X
$\xi_{п.с.}$	0 X
$\xi_o$	0,0555555555555556 X
$\xi_n$	0,0555555555555556 X

б

T	0,2
Вычисляемые параметры	
$\omega$	0,1731463970077 X
k	0,82
$\xi_b$	0 X
$\xi_z$	0 X
$\xi_{и}$	0,03 X
$\xi_{п.с.}$	0 X
$\xi_o$	0,057963110874264 X
$\xi_n$	0,057963110874264 X

в

T	0,2
Вычисляемые параметры	
$\omega$	0,1731463970077 X
k	0,82
$\xi_b$	0
$\xi_z$	0
$\xi_{и}$	0,03 X
$\xi_{п.с.}$	0 X
$\xi_o$	0,1 X
$\xi_n$	

Расчётная формула

$$T = 1,2 \sqrt{\xi_b^2 + \xi_z^2 + \xi_{и}^2 + \xi_{п.с.}^2 + \xi_o^2 + \xi_n^2 + (k\omega)^2}$$

T - допуск на размер  
 $\omega$  - статистическая точность обработки  
k - вычисляемый коэффициент  
 $\xi_b$  - погрешность базирования  
 $\xi_z$  - погрешность закрепления  
 $\xi_{и}$  - погрешность износа установочных элементов  
 $\xi_{п.с.}$  - погрешность положения приспособления на станке  
 $\xi_o$  - погрешность положения опоры  
 $\xi_n$  - погрешность настроечного элемента

Ошибка  
Величина погрешностей превышает допустимую.  
OK

Рис. 2. Результаты последовательного расчета составляющих погрешности обработки: по заданной операционной точности и установленным предварительно нулевым значениям составляющих (исходное предложение программы в автоматическом режиме) (а); среднее значение погрешностей (0,057 9...), определяющих точность замыкающих цепей конструкции приспособления (б); реакция программы на недопустимость принимаемого решения

при попытке рассчитать составляющую  $\xi_n$  (в)

На рис. 2б видим предложение автоматического вычисления по точности замыкающих звеньев приспособления:  $\xi_o = \xi_n = 0,0579...$  мм. Далее конструктор приспособления составляет соответствующие конструкторские размерные цепи, решает их (прямая задача) и делает необходимую дифференциацию полученных результатов (рис. 2б) для каждой из двух погрешностей, то есть указывает одно из найденных значений и автоматически находит другое. Например, было определено и по технологическим возможностям изготовителя приспособления принято, что  $\xi_o = 0,1$  мм. Тогда заносим этот результат в соответствующую ячейку на форме, удаляем показания в ячейке для  $\xi_n$ , нажимаем «Рассчитать» и получаем на форме (рис. 2в) указание на ошибку: «величина погрешностей превышает допустимую». Теперь есть два варианта: либо снижать значение  $\xi_o$  (искать другое допустимое его значение), либо отказаться от рассчитанного ранее значения статистической точности  $\omega = 0,173...$  в сторону ужесточения этого требования. Поскольку технологические возможности по выбору метода обработки (выбор станка, инструмента, способа размерной настройки и других факторов) обычно находятся в довольно широком диапазоне, то принимаем второй вариант. Для этого освобождаем ячейку для  $\omega$  и снова нажимаем «Рассчитать».

На рис. 3 показана соответствующая форма с вариантом окончательных результатов, где  $\omega = 0,146$  мм (требование по точности метода обработки ужесточилось);  $\xi_o = 0,1$  мм;  $\xi_n = 0,049$  мм. Полученное решение занесено в таблицу после нажима кнопки «Новый расчет». Разумеется, рассчитанная погрешность положения элемента размерной настройки станка ( $\xi_n$ ) должна пройти проверку на возможность ее технологического обеспечения, что определяется конкретными производственными условиями. Если решение окажется невозможным, то возвращаемся к экранной форме программы и продолжаем поиск новых сочетаний составляющих погрешности обработки, оптимальных для заданной точности операционного размера ( $T = 0,2$  мм).

**Вычисляемые параметры**

$T$	0,2
$\omega$	0.146679825631453
$k$	0,82
$\xi_b$	0
$\xi_z$	0
$\xi_{и}$	0,03
$\xi_{п.с.}$	0
$\xi_o$	0,1
$\xi_n$	0.0491030662088541

**Расчётная формула**

$$T = 1,2 \sqrt{\xi_b^2 + \xi_z^2 + \xi_{и}^2 + \xi_{п.с.}^2 + \xi_o^2 + \xi_n^2 + (k\omega)^2}$$

где  $T$  - допуск на размер  
 $\omega$  - статистическая точность обработки  
 $k$  - вычисляемый коэффициент  
 $\xi_b$  - погрешность базирования  
 $\xi_z$  - погрешность закрепления  
 $\xi_{и}$  - погрешность износа установочных элементов  
 $\xi_{п.с.}$  - погрешность положения приспособления на станке  
 $\xi_o$  - погрешность положения опоры  
 $\xi_n$  - погрешность настроечного элемента

**Результаты предыдущих**

$T$	$\omega$	$k$	$\xi_b$	$\xi_z$	$\xi_{и}$	$\xi_{п.с.}$	$\xi_o$	$\xi_n$
0,2	0,14667...	0,82	0	0	0,03	0	0,1	0,04910...

Рассчитать

Новый расчёт

Рис. 3. Результаты принятого варианта расчета

Заметим, что разработчику станочного приспособления должно быть известно, что погрешности  $\xi_o$  и  $\xi_n$  на линейные размеры также изначально могут отсутствовать, то есть иметь нулевое значение (одна из них, или обе). Тогда необходим расчет приспособления на точность по пространственным отклонениям положения его основных поверхностей;

при этом в левую часть расчетной формулы вписывается в пределах линейного допуска значение пространственного отклонения (например, на соосность, симметричность, перпендикулярность, параллельность и т. п. по требованию чертежа детали). Этот расчет также необходим, если операционная точность в виде пространственных отклонений на обрабатываемую деталь указана в явной форме. Соответствующие погрешности  $\xi_o$  и  $\xi_n$  (на пространственные отклонения) рассчитывают аналогичным образом.

Данная программа позволила перераспределить время учебного процесса в пользу более широкого и осмысленного восприятия материала по разработке станочного приспособления и в пользу успешного решения других вопросов, особенно при выполнении курсовых и выпускных работ.

На машиностроительных предприятиях данная программа не только ускорит процесс разработки конструкции станочного приспособления, но и обеспечит обоснованность принимаемых решений на стадии разработки отдельных технологических операций.

#### **Библиографический список**

1. Прохоров, В.Г. Расчет станочного приспособления на точность [Электронный ресурс]: метод. разработка по курсу «Проектирование технол. оснастки для студентов спец. «Технология машиностроения» и «Автоматизация технол. процессов и пр-ва»; в составе учебно-метод. комплекса / В.Г. Прохоров. Тверь: ТГТУ, 2003.
2. Прохоров, В.Г. Вопросы разработки станочного приспособления / В.Г. Прохоров, Г.И. Рогозин, А.А. Королев // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: межвуз. сб. науч. трудов. Вып. 5. Тверь: ТвГТУ, 2012. С. 61–66.
3. Прохоров, В.Г. Расчет на точность изготовления станочного приспособления / В.Г. Прохоров, А.Е. Алонзов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: № 2014612257. Реестр программ для ЭВМ. 05.05.2014.